



## Optimering - et grundlag for bæredygtig IT

**Pisinger, David**

*Published in:*  
Den digitale revolution - fortællinger fra datalogiens verden

*Publication date:*  
2010

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Pisinger, D. (2010). Optimering - et grundlag for bæredygtig IT. In *Den digitale revolution - fortællinger fra datalogiens verden* (pp. 80-91). Københavns Universitet. [http://www.diku.dk/jubilee/dikus\\_jubilaemsskrift/](http://www.diku.dk/jubilee/dikus_jubilaemsskrift/)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Optimering - et grundlag for bæredygtig it

.....  
Af **David Pisinger**, adjungeret professor, DIKU  
.....

**D**a bogen "Grænser for vækst" (Meadows m.fl.) udkom i 1972, rystede den store dele af samfundet. Verden havde ellers set lidt af hvert: Vietnamkrigen, Watergateskandalen og den kolde krig. Mange mente, at nu kunne det ikke blive værre. Men alligevel fik bogens dommedagsprofeti mange rynkede øjenbryn frem.

Bogen forudsagde, at hvis befolkningsekspllosionen fortsatte som hidtil, ville jordens ressourcer snart være opbrugt. Der ville ske en voldsom økonomisk afmatning, og livskvaliteten ville falde i starten af 2000-tallet. Resultaterne var baseret på en global computermodel, "World3", udviklet på MIT, der gennem komplekse ligningssystemer gjorde det muligt at simulere klodens tilstand mange år frem i tiden. Kort efter udgivelsen kom oliekrisen som en slags bekræftelse af dommedagsprofetierne.

Bogen var revolutionerende i flere henseender:

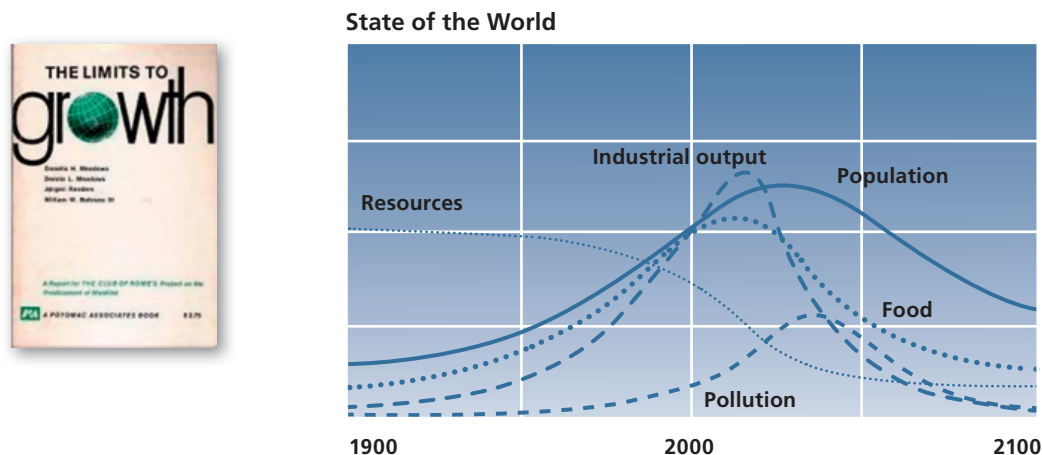
1. Det var den første populære anvendelse af it-baseret simulation af sammenhænge mellem livets forudsætninger. Modellen beskrev gensidige afhængigheder og afspejlede derfor i højere grad den virkelige verden.
2. Der blev tegnet et dystert billede af fremtiden. Hvis befolkningsekspllosionen fortsatte, og vi blev ved med at ødsle med jordens ressourcer, ville vi snart se katastrofale følger.
3. Bogen stillede spørgsmål ved den bibelske opfattelse af, at mennesket hersker over jorden. Mennesket er ligesom alle andre levende væsner underlagt nogle spilleregler på kloden.

Her, knap 40 år efter udgivelsen, er "Grænser for vækst" mere aktuel end nogensinde. Vi kæmper stadig med en eksplosivt voksende befolkning, men hvor bogen oprindeligt var bekymret for, at mængden af fossilt brændstof var begrænset, frygter vi nu i højere grad konsekvenserne af CO<sub>2</sub>-udslip, drivhusgasser og forurening.

## It som vagthund og frelsende engel

På samme måde som it blev brugt til at forudsige grænserne for den globale vækst, kan it også være vejen til at løse problemerne. Eller i hvert fald en del af løsningen. Med en voksende befolkning og færre råstoffer må vi blive bedre til at udnytte vores ressourcer, hvis vi vil opretholde vores nuværende levestandard.

**Figur 1:** Bogen "Grænser for vækst" satte med sine computerbaserede simulationer fokus på bæredygtighed. Som det ses på figuren til højre, vil industri- og fødevareproduktionen aftage drastisk omkring 2020, og forureningen vokse frem til 2040, hvor befolkningstallet daler voldsomt.



Der bliver i disse år brugt mange penge på at investere i ny teknologi, som kan mindske energiforbrug og begrænse CO<sub>2</sub>-udslip, men omstillingsprocessen er langsom og dyr, og visse teknologiske løsninger fører blot nye problemer med sig. Tænk blot på a-kraft-værker, enorme vindmølleparker i naturen osv. Det kan derfor virke besnærende i stedet at blive bedre til at udnytte de eksisterende ressourcer ved brug af it-baseret optimering.

Det startede ellers på en mindre flatterende måde. Første gang man begyndte at bruge kvantitative metoder til beslutningstagning, var under anden verdenskrig, hvor faget *operationsanalyse* så dagens lys. Operationsanalyse bruger regnekraft til at støtte beslutninger og opererer derfor i grænseområdet mellem matematik og datalogi. Under anden verdenskrig var målet at få ødelagt flest mulige af fjendens fly og skibe, og mere end 1.000 medarbejdere blev brugt til at planlægge krigens forløb i England. Efter krigens afslutning så man mulighederne i at bruge de samme teknikker inden for planlægning af fx produktion, logistik og infrastruktur. Især fremkomsten af lineær programmering i 1947 satte skub i tingene, og det viste sig hurtigt, at der næsten ikke var grænser for, hvad metoderne kunne bruges til. Fokus har dog næsten altid været på at maksimere fortjenesten (i en eller anden form) af sine handlinger. I dag står vi nu ved en vigtig korsvej, hvor interessen mere og mere drejer sig om at finde bæredygtige løsninger.

Ud fra et datalogisk synspunkt er optimeringsproblemer interessante at beskæftige sig med. Der findes ikke nogen universel løsningsmetode, som kan løse alle optimeringsproblemer, og teorien om NP-fuldstændighed (se faktaboks) giver os god grund til at tro, at vi aldrig vil blive i stand til at løse disse rutinemæssigt. Faktisk er der udlovet en million dollar i præmie til den, der kan løse et af disse problemer effektivt.

## Lette og svære optimeringsproblemer

Forestil dig, at du som rektor på et gymnasium skal dele 100 studerende i tre klasser. Alle studerende har skrevet en liste over personer, de ikke vil i klasse med, og vi søger en opdeling, som respekterer alle disse ønsker. Problemet er et eksempel på, hvad forskere kalder et NP problem, idet det er nemt at kontrollere, om en foreslået opdeling af de studerende overholder alle ønsker. Men at finde en opdeling, som overholder alle ønsker, er en uoverkommelig opgave. Hvis man bare prøver sig frem med alle mulige opdelinger, er der mere end  $3^{100}$  kombinationsmuligheder, et tal, der overstiger alle atomer i universet! Så hverken vi eller fremtidige civilisationer vil kunne bygge en supercomputer, som vil kunne prøve alle kombinationsmuligheder. Men måske findes der en snedig algoritme, som kan løse problemet uden at prøve alle kombinationsmuligheder. Vi har bare endnu ikke udviklet matematiske metoder til at gøre dette.

Et af datalogiens store spørgsmål er, om der findes spørgsmål, hvor det er nemt at kontrollere, om en løsning er korrekt, men som kræver ufattelig lang tid at løse ved direkte beregning. Problemet ovenfor ligner et sådant problem, men hidtil har ingen været i stand til at vise, at man rent faktisk skal bruge ufat-

telig lang tid på at løse det. Stephen Cook og Leonid Levin formulerede dette spørgsmål i 1971 som P (det er nemt at løse problemet) versus NP (det er nemt at kontrollere en løsning) -problemstillingen.

Hvis det en dag bliver vist, at  $P = NP$ , vil det få omfattende konsekvenser for vores tilværelse og tænkemåde. Man vil fx kunne få en computer til at bevise alle uløste påstande inden for matematik og fysik. Det er nemlig nemt at kontrollere, om et bevis er korrekt, så problemet "find et matematisk bevis" tilhører klassen NP. Hvis  $P = NP$ , vil det også være nemt at "finde et matematisk bevis". Hvis man kunne få en computer til at bevise uløste matematiske problemer, ville man kunne tale om ægte kunstig intelligens, og teknisk forskning ville rykke et kvantespring fremad.

Blandt NP-problemerne er der nogle særlig svære problemer, som vi kalder NP-fuldstændige problemer. Disse problemer er sværere end alle NP-problemer, i den forstand at man kan transformere alle NP-problemer til et NP-fuldstændigt problem.

Nedenstående tabel viser nogle lette (P-problemer) og svære problemer (NP-fuldstændige problemer)

Korteste vej	Givet et vejnet, find den korteste vej fra $a$ til $b$	Let
Længste vej	Givet et vejnet, find den længste kredsfrø vej fra $a$ til $b$	Svært
Todeling	Givet et antal heltal, del disse i to mængder, så summen af tallene er ens i hver mængde	Svært
Handelsrejsendes problem	Givet et vejnet, find den korteste tur rundt, som besøger alle byer	Svært
Primtal	Givet et heltal, afgør, om tallet er et primtal	Let
Deling i to klasser	Givet et antal studerende, hvor hver studerende har angivet, hvem han/hun ikke vil i klasse med. Del de studerende i to klasser så ønskerne overholdes	Let
Deling i tre klasser	Givet et antal studerende, hvor hver studerende har angivet, hvem han/hun ikke vil i klasse med. Del de studerende i tre klasser, så ønskerne overholdes	Svært

Hvert enkelt optimeringsproblem er derfor en videnskabelig udfordring, som kræver et samspil af mange discipliner. Fra matematik over algoritmik til design af supercomputere. Mange optimeringsproblemer er særdeles beregningstunge at løse, så grid og cloud computing er velkomne værktøjer til at fordele beregningerne på mange computere. Men selv hvis vi havde alle jordens computere til rådighed, ville der være visse optimeringsproblemer, som stadig ikke ville kunne blive løst (se figur 2). I stedet er vi nødt til at udvikle nye matematiske løsningsmetoder for at kunne hamle op med de sværeste optimeringsproblemer, og selv her må vi undertiden erkende, at vi ikke kan løse et problem (endnu).

<i>n</i>	10	50	100	300	1.000
5 <i>n</i>	50	250	100	1.500	5.000
<i>n</i> <sup>2</sup>	100	2.500	10.000	90.000	10 <sup>7</sup>
<i>n</i> <sup>3</sup>	1.000	125.000	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>10</sup>
2 <sup><i>n</i></sup>	1.024	10 <sup>16</sup>	10 <sup>31</sup>	10 <sup>91</sup>	10 <sup>302</sup>
<i>n</i> !	10 <sup>7</sup>	10 <sup>65</sup>	10 <sup>161</sup>	10 <sup>623</sup>	"stort"

**Figur 2:** Mange optimeringsproblemer tager eksponentielt lang tid at løse, fx 2<sup>*n*</sup>, hvor *n* er antallet af variable, der skal bestemmes. Problemerne behøver ikke at blive ret store, førend vi må opgive at løse dem. Tabellen viser, hvor hurtigt 2<sup>*n*</sup> vokser i forhold til andre funktioner. Til sammenligning er der gået ca. 13,73 milliarder år siden Big Bang, hvilket er omkring 10<sup>18</sup> sekunder. Hvis en computer havde kørt uafbrudt siden Big Bang og udført en milliard regneoperationer i sekundet, ville den nu have udført 10<sup>27</sup> regneoperationer. Så et problem med *n* = 100 variable, hvor det tager 2<sup>*n*</sup> regneoperationer at løse det, ville være kommet gennem mindre end 1 promille af beregningerne.

### Produktion og bæredygtighed som ligeværdige mål

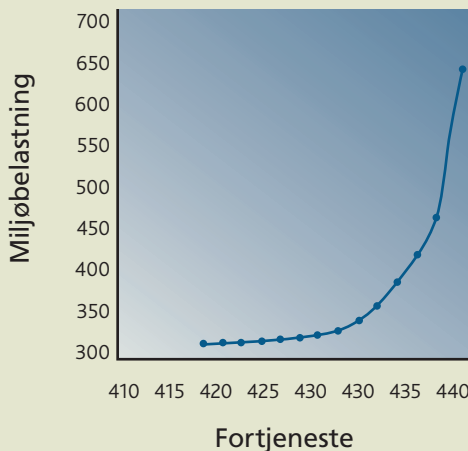
Det nytter ikke noget, at man alene søger efter de mest bæredygtige løsninger, for her vil de matematiske modeller typisk svare, at det miljømæssigt bedste er ikke at producere eller transportere noget som helst. Selvom dette er en smuk løsning, er det de færreste ledere, som ville blive genvalgt med et sådant valgprogram.

Det er derfor vigtigt, at vi ser produktion, fortjeneste og bæredygtighed som ligeværdige mål. Når fortjenesten presses til det yderste, ser man ofte, at ressourceforbrug og forurening vokser dramatisk. Men blot en lille formindskelse af fortjenesten på 1-2 procent kan ofte give en voldsom formindskelse af ressourceforbruget. Dette hænger sammen med, at der ofte kun er én løsning, som maksimerer fortjenesten, mens der findes rigtig mange løsninger, som er bare nogle få procent dårligere. Blandt disse mange løsninger er det derfor relativt nemt at finde en løsning, som også er bæredygtig.

Når man går fra at maksimere fortjenesten til at afveje profit mod bæredygtighed, er der ikke en entydig optimal løsning. Derimod findes der en vifte af løsninger som illustreret på figur 3. Man kan ikke uden videre bruge en computer til at vælge en af disse løsninger, idet de alle er lige gode på hver sin måde. Man må derfor i stedet lade en beslutningstager afveje de forskellige kriterier mod hinanden. I sidste instans er det en politisk-strategisk afvejning, hvor grænsen mellem produktion og bæredygtighed skal ligge, men vi kan bruge computeren til at finde de bedste valgmuligheder og synliggøre konsekvenserne af hvert valg.

En øget miljøbevågenhed kan også have mange implicitte fordele. For at spare energi vil man ofte vælge at sejle/køre lidt langsommere end den maksimale hastighed. Sådanne løsninger fører til mere robuste planer, idet det er nemmere at indhente forsinkelser. I sidste instans fører det til større kundetilfredshed og at varer leveres til tiden.

I de følgende afsnit gennemgås nogle projekter, hvor DIKU har bidraget til forskningsprojekter, der munder ud i større bæredygtighed.



**Figur 3:** Miljøbelastning som funktion af fortjenesten.



*Det kan give 4-5 procent besparelse på transportudgifterne at fylde containerne bedre*

### Kunsten at pakke sofaer i containere

I 2004 påbegyndte forskere på DIKU et samarbejde mellem Bari Universitet og en førende italiensk sofaproducent (Natuzzi SpA) omkring udvikling af it-baserede metoder til pakning af sofaer i containere (Egeblad m.fl.). Der bliver årligt transporteret flere hundrede tusind containere med møbler rundt omkring i verden, så en reduktion af transportomkostningerne på blot 4-5 procent ville betyde en stor gevinst for miljøet og for virksomheden.

Hvad der virker som en intuitivt let opgave, viste sig hurtigt at være en overordentlig svær problemstilling, idet sofaer som bekendt ikke er rektangulære. Da opgaven blev påbegyndt, fandtes der kun nogle få algoritmer til pakning af ikke-rektangulære emner, og disse kunne kun håndtere problemer med 10-20 emner. En container med møbler indeholder ofte mere end 100-150 emner, så der var behov for at udvikle helt nye løsningsmetoder.

Undervejs i denne proces blev Minkowskis berømte arbejde fra 1900-tallets begyndelse taget op. Minkowski opstillede en matematisk formel for, hvordan et legeme kan bevæge sig omkring et andet legeme ude at støde ind i det, og denne viden kan bruges til at beregne, hvor to sofaer kan placeres i forhold til hinanden.



**Figur 4:** Pakning af sofaer i containere. Med programmet til højre kan man finde en optimal pakning. Dermed er det blevet muligt at reducere transport omkostningerne med 4-5%. Den svævende sofa på figuren til højre markerer at der ikke var plads til denne enhed i containeren.

Alligevel er antallet af mulige måder at pakke 100 sofaer på astronomisk, så man er nødt til at begrænse søgningen til nogle fornuftige kombinationer. Dette kan fx være, at to ens sofaer bliver parret sammen med den indvendige foring mod hinanden, således at de beskytter hinanden under transport. En anden kombination kan være at anbringe en let stol oven på en tung sovesofa.

For at kunne pakke sofaer er det nødvendigt at opstille en generel repræsentation af, hvordan en sådan sofa ser ud, ud fra nogle givne mål. Værktøjet kan anvendes baglæns, således at man faktisk ved at indtaste nogle mål kan designe sin egen sofa, og er et eksempel på, hvordan en god matematisk forståelse kan åbne op for helt nye anvendelsesområder.

Det udviklede program bliver nu brugt på alle produktionssteder, og det kan give 4-5 procent besparelse på transportudgifterne ved at fylde containere bedre. Samtidig undgår man transportkader, idet lasten ikke forrykker sig så let, når containeren er fyldt helt op.

Fra et forskningsmæssigt synspunkt har det ført til den første 3-dimensionelle pakningsalgoritme, som kan løse praktiske problemer fra det virkelige liv, hvor emnerne ikke er begrænset til at være rektangulære. Dette har revolutioneret produktionsprocessen, idet man nu kan simulere pakning af en container alle steder i virksomheden. Således kan man på forhånd teste, om nogle bestilte varer kan være i en enkelt container. Hvis programmet kan pakke alle sofaerne, så der stadig er plads i containeren, vil forhandleren typisk bestille endnu flere varer for at få fyldt containeren. Når transportudgifterne er betalt, kan man lige så godt udnytte pladsen. Dette fører til et øget salg og i sidste instans også til lavere produktionsomkostninger.

---

## Energieffektiv transportplanlægning

EU har sat sig som mål at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen med 20 procent inden for det næste årti. Transportsektoren er ansvarlig for en stor del af denne udledning grundet sin afhængighed af fossilt brændstof. Transportsektorens natur gør det svært at finde alternative energikilder, hvorfor den vigtigste metode p.t. kan være at udnytte energien bedre gennem forbedret logistik.

ENERPLAN-projektet (Energieffektiv Transportplanlægning) har til formål at udvikle intelligente it-baserede værktøjer til planlægning af containerbaseret transport. Især skal der udvikles beslutningsstøtte til at planlægge rutenet, så en bedre balance mellem skibenes kapacitet og lastbehov opnås. Endvidere udvikles algoritmer til at laste skibe hurtigere og bedre, således at tiden i en havn minimeres. Dermed kan skibet sejle langsommere på de mellemliggende strækninger og reducere energiforbruget. Endelig er det målet at udvikle planlægningsværktøjer i stil med "Rejseplanen" for containertransport, der viser både pris, rejsetid og miljøbelastning. På den måde kan man vælge den billigste og mest miljøvenlige transportform (se faktaboks).

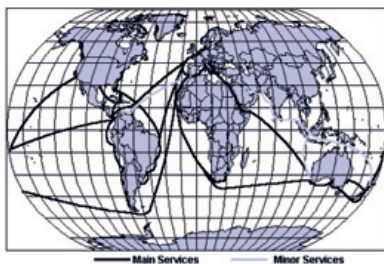
Projektets mål er at reducere energiforbruget i liner shipping med 3-5 procent ved at designe mere effektive rutenet og ved at forbedre den logistiske håndtering af containerne. For en stor liner shipping-virksomhed svarer en besvarelse på 3-5 procent til CO<sub>2</sub>-udledningen fra en større dansk provinsby.

Forskningen er et samarbejde mellem DTU/DIKU, IT-Universitetet og Maersk Line. Ved at have verdens største containershipping-virksomhed med i projektet sikres der adgang til nyeste data om containertransport, samt at de udviklede metoder hurtigt kan omsættes til praksis og dermed spare CO<sub>2</sub>-udledning.





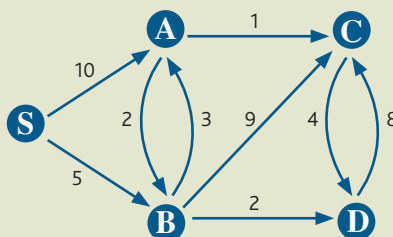




**Figur 5:** Ved at beregne bedre rutenet for containerskibe er det målet at spare 3-5 % af energiforbruget. For en stor shippingvirksomhed svarer dette til energiforbruget i en større dansk provinsby.

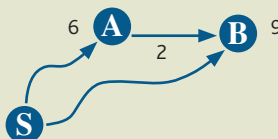
## Hvordan finder man den mest miljørigtige transportvej?

Antag, at vi vil sende en container fra Singapore (S) til Copenhagen (C) på den mest miljørigtige måde. Der er givet en sejlplan for alle containerskibe, hvor knuderne (cirklerne) angiver havne, og kanterne (stregene) angiver sejlruiter. For hver sejlroute er det oplyst, hvor stort et energiforbruget er pr. container. Vi vil kalde dette tal kantens længde eller afstand.



På ovenstående figur er afstanden 2 fra A til B, mens afstanden fra B til A er 3 (idet skibet sejler en anden vej). Hvis vi vil finde den mest miljørigtige vej fra byen S til byen C, kan vi enten gå  $S \rightarrow A \rightarrow C$  (længde 11),  $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$  (længde 21),  $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C$  (længde 22),  $S \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C$  (længde 9),  $S \rightarrow B \rightarrow C$  (længde 14) eller  $S \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C$  (længde 15).

For at løse problemet vil vi på hver knude skrive et tal  $a$ , som angiver den for tiden bedst kendte afstand fra S til knuden. Til at begynde med er afstanden uendelig for alle knuder, idet vi ikke kender nogen vej til dem endnu. Undervejs i løsningsprocessen vil vi formindske værdierne af  $a$ , efterhånden som vi finder *genveje*. På nedenstående figur er den korteste kendte afstand fra S til A sat til  $a = 6$ , mens  $a = 9$  for knuden B. Nu betragter vi kanten  $A \rightarrow B$ . Da afstanden til A plus længden af kanten  $A \rightarrow B$  er  $6 + 2$ , har vi fundet en genvej til B, således at vi kan rette den korteste kendte afstand fra S til B til værdien  $a = 8$ .

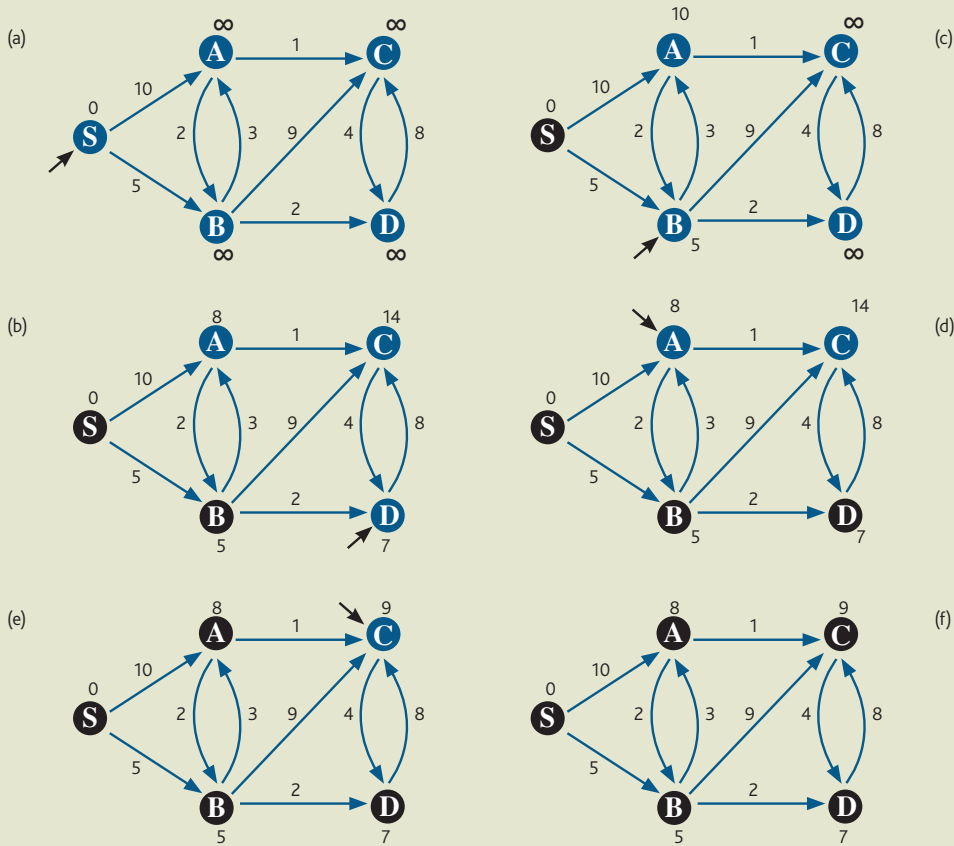


Hvis vi finder *genveje* på en systematisk måde, kan vi beregne afstanden fra  $S$  til alle andre knuder med **Dijkstras algoritme**.

1. Lad  $a$  være uendelig for alle knuder, og farv alle knuder hvide.
2. Lad  $a$  være 0 for startbyen  $S$ .
3. Gentag skridt 4 til 6, så længe der er hvide knuder.
4. Vælg den hvide knude, som har lavest værdi af  $a$ , kald den  $x$ .
5. For alle kanter  $x \rightarrow y$ , undersøg, om der er en *genvej* fra  $x$  til  $y$ .
6. Farv knuden  $x$  sort.

**Eksempel:** På nedenstående figur (a) er værdien af  $a$  sat til  $\infty$  for alle knuder undtagen  $S$ , der har afstanden 0. Den hvide knude, som har lavest værdi af  $a$ , er knuden  $S$ . Vi undersøger nu, om der er en *genvej* via kanten  $S \rightarrow A$  (her bliver afstanden  $0 + 10$ ) og kanten  $S \rightarrow B$  (her bliver afstanden  $0 + 5$ ). Da de tidligere værdier af  $a$  var uendelig for  $A$  og  $B$ , er begge kanter en *genvej*, så vi kan opdatere værdien af  $a$  på begge knuder. Knude  $S$  farves sort.

På næste figur (b) er det  $B$ , som er den hvide knude, der har lavest værdi af  $a$ . Vi undersøger *genveje* via kanterne  $B \rightarrow A$  (afstand  $5 + 3$ ),  $B \rightarrow C$  (afstand  $5 + 9$ ) og  $B \rightarrow D$  (afstand  $5 + 2$ ). Alle er *genveje*, så værdierne af  $a$  opdateres. Knude  $B$  farves sort. I figur (c) finder vi, at  $D$  er den hvide knude med lavest værdi af  $a$ . Der er kun én kant,  $D \rightarrow C$ , hvor vi skal kontrollere for *genveje*. Her finder vi afstanden  $7 + 8 = 15$ , men denne er *ikke* en *genvej*, så vi beholder værdien af  $a = 14$  i knude  $C$ . Knude  $D$  farves sort. Således fortsættes indtil sidste figur (f), hvor alle knuder er sorte, og for hver knude angiver  $a$  længden af den korteste vej fra  $S$  til knuden.



---

## Bedre logistik kan være vejen til klimamål

Den nuværende debat om klimaændringer er for en stor dels vedkommende fokuseret på teknologiske løsninger som elektriske biler, vindkraft osv. Men sådanne løsninger er dyre og tidskrævende at implementere. It-baserede logistik- og planlægningsværktøjer med fokus på miljøet kan være et bedre alternativ, da de ikke kræver dyre investeringer. De er hurtige at implementere, og de underliggende teknikker er modne.

Selvom bæredygtig it ikke i sig selv løser alle miljøproblemer, er det et vigtigt supplement til de mere teknologiske løsninger, for at vi kan nå vores klimamål i tide.

Hvis vi kigger 40 år frem i tiden, vil man med bedre optimeringsmetoder kunne undgå meget spild af ressourcer i produktion og samfund: En stor del af verdens lastbiler kører lige nu tomme eller halvtomme rundt. Der produceres en masse varer, som aldrig bliver solgt eller brugt. Vi bruger alt for mange materialer til at bygge broer og huse, fordi vi ikke kan beregne den samlede bærestyrke. Hjemmehjælperne bruger en stor del af deres dag på at køre rundt mellem klienterne. Der er en mængde problemer at tage fat på, og i takt med at løsningsteknikkerne bliver bedre, vil man hele tiden finde nye anvendelsesområder.

Man kunne forestille sig, at optimering om 40 år blev en integreret del af internettet, således at man kunne se på ressourceforbrug som en samlet helhed. Dermed ville man undgå meget spildproduktion, fordi man straks kunne reagere på ændrede behov. Omvendt åbner det op for nogle etiske overvejelser, idet vi måske ikke vil dele viden om vores forbrugsvaner med andre. ♦

## Læs mere

Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, William W. Behrens III.

*The Limits to growth*, Universe Books (1972).

David Pisinger "ENERPLAN - Green Logistic Solutions". *ERCIM news*, 79 (2009).

Clay Math Institute, "Millennium Prize Problems" <http://www.claymath.org/millennium/> (2000).

Jens Egeblad, Claudio Garavelli, Stefano Lisi, David Pisinger "Heuristic for container loading of furnitures" *European Journal of Operational Research* 200, 881-892, (2009).

Stefan Ropke, David Pisinger "A general heuristic for vehicle routing problems" *Computers & Operations Research*, 34, 2403-2435 (2007)

## DAVID PISINGER



David Pisinger har været professor i algoritmik og optimering på Datalogisk Institut ved Københavns Universitet siden 1993 og har siden 2009 været professor i operationsanalyse på DTU Management. David blev bachelor i matematik i 1988 og kandidat i datalogi i 1990. Han fik ph.d.-graden i datalogi i 1995 og modtog samme år Danmarks Naturvidenskabelige Akademis ph.d.-pris for sin afhandling.

Gennem årene har han været medlem af programrådet for flere ledende konferencer inden for operationsana-

lyse (bl.a. IFORS 2011, EURO 2000 og EURO 2010) samt bidraget til at arrangere ISMP 2003, et internationalt symposium om matematisk programmering i Danmark. Han har ledet flere større forskningsprojekter, bl.a. i samarbejde med Bari Universitet om bedre udnyttelse af containere og med Maersk Line om energibesparende transportveje.

David underviser bl.a. i algoritmik og operationsanalyse og har fungeret som vejleder i adskillige specialer og ph.d.-projekter. Blandt udvalgte publikationer kan nævnes bogen "Knapsack Problems" fra 2004 og artiklerne "Heuristics for Container Loading of Furniture" (2010) samt "A General Heuristic for Vehicle Routing Problems" (2007).

## **Den digitale revolution – fortællinger fra datalogiens verden**

Bogen er udgivet af Datalogisk Institut, Københavns Universitet (DIKU) i anledning af instituttets 40 års jubilæum med bidrag fra forskere tilknyttet instituttet.

### **Redaktion:**

Tariq Andersen, phd-studerende, Jørgen Bansler, professor, Hasse Clausen, lektor, Inge Hviid Jensen, kommunikationsmedarbejder og Martin Zachariasen, institutleder.

**Forsidemotiv:** Foto af skulptur af Alan Turing, © basegreen lokaliseret på flickr.com/photos/basegreen

**Oplag:** 1000 eks.

**Grafisk design og produktion:** Westring + Welling A/S

**ISBN:** 978-87-981270-5-5

© Datalogisk Institut 2010. Citater er tilladt under creative commons.

